

**THAYRON AUGUSTO RODRIGUES**

**MOMENTO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO DO HARVESTER SOB A INFLUÊNCIA  
DE ASPECTOS ECONÔMICOS, DECLIVIDADE DO TERRENO E VOLUME DA  
FLORESTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes

Coorientador: Márcio Lopes da Silva

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

R696m  
2024

Rodrigues, Thayron Augusto, 1991-  
Momento ótimo de substituição do *Harvester* sob a  
influência de aspectos econômicos, declividade do terreno e  
volume da floresta / Thayron Augusto Rodrigues. – Viçosa, MG,  
2024.

1 dissertação eletrônica (47 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Engenharia Agrícola, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.434>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Madeira - Exploração - Máquinas. 2. Máquinas agrícolas  
- Custo operacional. 3. Indicadores econômicos. 4. Declives.  
5. Monte Carlo, Método de. I. Fernandes, Haroldo Carlos, 1959-.  
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.  
III. Título.

CDD 22. ed. 631.3


**THAYRON AUGUSTO RODRIGUES**

**MOMENTO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO DO HARVESTER SOB A INFLUÊNCIA DE ASPECTOS ECONÔMICOS, DECLIVIDADE DO TERRENO E VOLUME DA FLORESTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.


APROVADA: 28 de fevereiro de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente  
 **THAYRON AUGUSTO RODRIGUES**  
Data: 24/07/2024 20:57:17-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Thayron Augusto Rodrigues  
Autor

Documento assinado digitalmente  
 **HAROLDO CARLOS FERNANDES**  
Data: 23/07/2024 09:27:24-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Haroldo Carlos Fernandes  
Orientador

## RESUMO

RODRIGUES, Thayron Augusto, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2024. **Momento ótimo de substituição do Harvester sob a influência de aspectos econômicos, declividade do terreno e volume da floresta.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientador: Márcio Lopes da Silva.

O Brasil destaca-se internacionalmente nas cadeias produtivas de florestas plantadas, assumindo a posição de maior produtor e exportador mundial de celulose. O setor, crucial para a economia brasileira, registrou um crescimento de 20,5% em termos reais na última década. A colheita florestal mecanizada, impulsionada pela eficiência e segurança proporcionadas pelo Harvester, tornou-se amplamente popular. No entanto, a operação dessas máquinas é influenciada por uma série de fatores, demandando conhecimentos especializados. Este trabalho, organizado em dois capítulos, teve como primeiro objetivo caracterizar o custo operacional do Harvester, e identificar os itens de custos mais impactantes no custo operacional da máquina por meio de uma análise de sensibilidade, utilizando a técnica de simulação de Monte Carlo. Os dados utilizados foram coletados a partir da operação de um Harvester em duas áreas na região do Rio Doce, destinadas ao cultivo de eucalipto, no estado de Minas Gerais, Brasil. No segundo capítulo realizou-se uma análise do momento ótimo de substituição do Harvester, empregando indicadores econômicos. A abordagem integrada desses dois capítulos forneceu uma visão estratégica, unindo eficiência operacional e sustentabilidade financeira. O primeiro capítulo destacou a importância da depreciação e combustível nos custos operacionais, revelando, em 95% dos casos, a vantagem da aquisição sobre o aluguel do equipamento. O segundo capítulo concentrou-se em indicadores financeiros para determinar a idade ótima de substituição do Harvester, convergindo para seis anos, enfatizando a sensibilidade do projeto a condições específicas. A flexibilidade na gestão do Harvester emerge como crucial para assegurar sua eficácia diante das variabilidades operacionais. Essa abordagem integrada proporciona uma base sólida para decisões estratégicas, otimizando custos e retorno financeiro ao longo da vida útil do equipamento.

Palavras-chave: Análise econômica, Indicadores econômicos, Produção Florestal, Declividade, Volume de Madeira

## ABSTRACT

RODRIGUES, Thayron Augusto, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2024. **Optimal Replacement Timing of the Harvester under the Influence of Economic Aspects, Terrain Slope, and Forest Volume.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-adviser: Márcio Lopes da Silva.

Brazil stands out internationally in the productive chains of planted forests, assuming the position of the world's largest producer and exporter of pulp. The sector, crucial for the Brazilian economy, recorded a real growth of 20.5% in the last decade. Mechanized forest harvesting, driven by the efficiency and safety provided by the Harvester, has become widely popular. However, the operation of these machines is influenced by a series of factors, requiring specialized knowledge. This work, organized in two chapters, had the primary goal of characterizing the operational cost of the Harvester and identifying the most impactful cost items in the machine's operational cost through a sensitivity analysis, using the Monte Carlo simulation technique. The data used were collected from the operation of a Harvester in two areas in the Rio Doce region, dedicated to eucalyptus cultivation, in the state of Minas Gerais, Brazil. In the second chapter, an analysis of the optimal replacement timing of the Harvester was carried out using economic indicators. The integrated approach of these two chapters provided a strategic view, combining operational efficiency and financial sustainability. The first chapter highlighted the importance of depreciation and fuel in operational costs, revealing, in 95% of cases, the advantage of equipment acquisition over renting. The second chapter focused on financial indicators to determine the optimal age of Harvester replacement, converging to six years, emphasizing the project's sensitivity to specific conditions. Flexibility in Harvester management emerges as crucial to ensuring its effectiveness in the face of operational variability. This integrated approach provides a solid foundation for strategic decisions, optimizing costs and financial return over the equipment's lifespan.

Keywords: Economic analysis, Economic indicators, Forest Production, Slope, Wood Volume.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de pesquisa de Gonzaga, MG.....	12
Figura 2 - Localização da área de pesquisa de Coroaci, MG.....	13
Figura 3 – Harvester John Deere, modelo 1270D realizando a operação de descascamento e remoção de galhos.....	14
Figura 4 - Esquema com as principais partes Harvester John Deere, modelo 1270D .....	15
Figura 5 - Cabeçote Harvester com seus principais componentes .....	15
Figura 6– Gráfico da representação em porcentagem do Custo Fixo .....	21
Figura 7 – Gráfico da representação em porcentagem do Custo Variável.....	21
Figura 8 – Distribuição das probabilidades do custo total do Harvester, em US\$h <sup>-1</sup> gerados a partir da variação de ±20% nos itens de custo.....	22
Figura 9 – Influência dos itens de custo no custo total do Harvester. ....	23
Figura 10 - Distribuição das probabilidades do custo total do Harvester, em US\$h <sup>-1</sup> gerados a partir da variação de ±20% nos custos parciais. ....	23
Figura 11 - Influência dos custos parciais no custo total do Harvester.....	24

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

Tabela 1 - Valores utilizados no cálculo do custo operacional do *Harvester*.....18

Tabela 2 - Componentes do custo operacional do *Harvester* John Deere, modelo 1270D, em dólares por hora efetiva trabalhada (US\$h<sup>-1</sup>) e porcentagem (%)..... 20

### Capítulo 2

Tabela 1- Valores utilizados no cálculo do custo operacional do *Harvester*..... 31

Tabela 2 - Componentes do custo operacional do *Harvester* John Deere, modelo 1270D, em dólares por hora efetiva trabalhada (US\$h<sup>-1</sup>)..... 32

Tabela 3 - Valor residual, custos e receitas corrente e descontado, em US\$1000, produção equivalente em 1000 m<sup>3</sup>, considerando 10° de declive e volume de 0,227 m<sup>3</sup>, a um preço da operação total da colheita de US\$ 4,70/m<sup>3</sup>..... 38

Tabela 4 – Indicadores financeiros para diferentes idades do *Harvester* considerando 10° de Declive e/ou Aclive e volume médio por árvore de 0,273 m<sup>3</sup>..... 39

Tabela 5 - Resumo com os indicadores que apontam o momento ótimo de substituição.....41

Tabela 6 – Influencia da declividade e do volume no Valor Anual Equivalente (VAE) e no momento ótimo de substituição do *Harvester*..... 46

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	9
CAPÍTULO 1 .....	11
CARACTERIZAÇÃO DO CUSTO DE OPERAÇÃO DO <i>HARVESTER</i> E INFLUÊNCIA DOS SEUS COMPONENTES .....	11
1. INTRODUÇÃO .....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	12
2.1 Caracterização do Ambiente de Estudo .....	12
2.2 Especificações do <i>Harvester</i> .....	13
2.3 Cálculos do Custo horário do <i>Harvester</i> .....	15
2.4 Dados .....	17
2.5 Análise de sensibilidade .....	18
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
3.1 Custo total do <i>Harvester</i> .....	20
3.2 Análise de sensibilidade .....	22
4 CONCLUSÕES .....	25
5. REFERÊNCIAS .....	26
CAPÍTULO 2 .....	28
ANÁLISE DO MOMENTO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO DO <i>HARVESTER</i> POR DIFERENTES MÉTODOS E EFEITO DA DECLIVIDADE E VOLUME DE MADEIRA .....	28
1. INTRODUÇÃO .....	28
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	30
2.1 Caracterização do <i>Harvester</i> .....	30
2.2 Caracterização do sistema de colheita .....	30
2.3 Caracterização da área de estudo .....	31
2.4 Custo de operação do <i>Harvester</i> .....	31
2.5 Produtividade do <i>Harvester</i> e influência da declividade e do volume da árvore .....	33
2.6 Indicadores econômicos utilizados para determinação do momento ótimo de substituição do <i>Harvester</i> .....	34
2.6.1 Valor Presente Líquido .....	34
2.6.2 Valor Anual Equivalente .....	35
2.6.3 Razão Benefício Custo .....	36
2.6.4 Custo Médio de Produção .....	36
2.6.5 Custo Anual Equivalente (CAE) .....	37
3. RESULTADOS .....	37

<b>4. CONCLUSÕES</b> .....	44
<b>5. REFERÊNCIAS</b> .....	45
<b>CONCLUSÃO GERAL</b> .....	47

## INTRODUÇÃO GERAL

A mecanização florestal se iniciou nos anos 1970. Atualmente, as áreas de melhoramento genético, manejo, mecanização da colheita e transporte florestal apresentaram avanços tecnológicos que proporcionaram ganhos significativos na produtividade e nos processos operacionais de reflorestamento.

O Brasil possui uma posição de destaque no mercado internacional nas principais cadeias produtivas de florestas plantadas. No setor de celulose, o Brasil é o maior produtor e exportador do mundo, com uma participação significativa no mercado global. A posição de destaque que o país tem no mercado internacional de florestas plantadas é resultado de uma série de fatores, que incluem: investimentos em tecnologia e inovação; abundância de terras disponíveis para o plantio das árvores; o clima favorável ao crescimento de espécies florestais como pinus e eucalipto; e uma demanda crescente por produtos florestais no mercado internacional (IBÁ, 2022; SNIF, 2022).

O setor de florestas plantadas é um importante setor da economia brasileira. O setor desempenha um papel vital na geração de empregos e no desenvolvimento econômico de várias comunidades, gerando renda para milhares de pessoas em todo o Brasil. A cadeia produtiva florestal do Brasil cresceu 20,5% em termos reais na última década, enquanto o PIB do país cresceu 7,4% no mesmo período (IBÁ, 2022).

A colheita florestal mecanizada é cada vez mais popular, pois garante maior eficiência e segurança se comparada ao método tradicional. A colheita mecanizada representa um avanço na eficiência e produtividade do setor florestal. Um dos tipos de máquina mais utilizado no sistema de colheita de toras curtas (que medem até seis metros), é o *Harvester*, um trator florestal definido como automotriz.

A colheita mecanizada é um processo contínuo de melhorias das condições de trabalho, da redução do custo final da madeira posta na fábrica, entre outros. Os custos da colheita florestal podem chegar a 50% do custo total da madeira, no entanto, podem ser reduzidos com uso de máquinas e técnicas específicas. Vale destacar que apesar de serem produtivas, as máquinas florestais estão sujeitas a uma série de fatores, que exigem conhecimentos específicos para o planejamento das operações, como: densidade do talhão; topografia do terreno; tipo de solo; volume por árvore; distância de extração.

Para melhorar a eficiência de um sistema produtivo, é preciso entender como ele funciona em detalhes (Minette *et al.*, 2008), assim o planejamento de colheita é essencial para o sucesso de qualquer empreendimento florestal que almeje aumentar a produtividade e, conseqüentemente, a produção. Por isso, é importante elaborar um estudo criterioso, levando em conta todas as informações críticas, antes de iniciar as atividades de colheita.

Sendo assim, objetivou-se com este trabalho inicialmente caracterizar o custo horário do *Harvester*, identificando os custos que mais influenciaram e realizar uma análise do momento ótimo de substituição do *Harvester*.

## Referências

Indústria Brasileira De Árvores (Brasil). **Relatório Anual IBÁ 2022**. S.L: IBÁ, 2022. 96 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf> . Acesso em: 12 dez. 2023.

MINETTE, Luciano J.; SILVA, Elizabeth N., FREITAS, Karla E.; SOUZA, Amaury P.; SILVA, Emilia P. Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada em Niquelândia, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 659-665, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662008000600014>.

Sistema Nacional De Informações Florestais - SNIF (Brasil). **Boletim SNIF 2022**. S.L: SNIF, 2022. 42 p. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/servico-florestal-brasileiro/snif-sistema-nacional-de-informacoes-florestais/boletim\\_snif\\_30-12-2022.pdf/view](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/servico-florestal-brasileiro/snif-sistema-nacional-de-informacoes-florestais/boletim_snif_30-12-2022.pdf/view) . Acesso em: 12 dez. 2023.

## Capítulo 1

# CARACTERIZAÇÃO DO CUSTO DE OPERAÇÃO DO *HARVESTER* E INFLUÊNCIA DOS SEUS COMPONENTES

### 1. INTRODUÇÃO

A colheita florestal mecanizada é cada vez mais popular, pois garante maior eficiência e segurança se comparada ao método tradicional. Existem vários tipos de máquinas que podem ser usadas para a colheita florestal mecanizada. Um dos tipos mais comuns no sistema de toras curtas é o *Harvester*. Neste sistema, todas as atividades são realizadas no local de derrubada da árvore, para produção de toras que medem no máximo seis metros.

Mesmo com evolução da colheita de madeira nos últimos anos, o Brasil está entre os países com maior custo de produção, sendo necessária a busca de alternativas, a exemplo de novos subsistemas, que visem o aumento da produtividade e redução dos custos (Nascimento *et al.*, 2017). Desta forma, conhecendo todas as etapas do sistema produtivo e com planejamento realizado, o produtor pode se inserir no mercado florestal de maneira mais sustentável e competitiva, alcançando bons retornos em períodos de bons preços e minimizando os impactos de excesso de oferta (Moreira; Simioni; Buschinelli, 2021). No Brasil, o custo de colheita é uma das operações mais onerosas das atividades florestais e pode alcançar até 50% dos custos relacionados à produção da madeira posta à fábrica (Machado, 1989; Freitas, 2005; Burla, 2008; Pereira, 2019).

O *Harvester* é um trator florestal categorizado como veículo automotor, composto por uma base automotriz equipada com rodados de pneus de baixa pressão e alta flutuação (BPAF), esteiras metálicas ou uma combinação de pneus e esteiras. É equipado com uma lança hidráulica projetada para alcançar as árvores, que em conjunto com um cabeçote, realiza as operações, de derrubada, desgalhamento, descascamento, traçamento e embandeiramento da madeira. (Leite, 2012).

Apesar da importância dessas máquinas para a colheita florestal mecanizada poucos trabalhos investigam a influência dos componentes na formação do custo hora da máquina. O custo hora da máquina é composto de serviços de manutenção,

combustível, peças e acessórios, custo de mão-de-obra, depreciação, entre outros e influencia diretamente no custo de colheita.

Deste modo, com base nas informações descritas, esta pesquisa busca responder ao seguinte problema: como os itens e componentes de custo (fixos e variáveis) influenciam no custo total por hora do *Harvester*? Assim, o objetivou-se com este trabalho caracterizar o custo horário da máquina, identificando os custos que mais influenciam o custo hora de trabalho do equipamento por meio da análise de sensibilidade.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização do Ambiente de Estudo

Esta pesquisa foi conduzida em duas áreas na região do Rio Doce, destinadas ao cultivo de eucalipto, no estado de Minas Gerais, Brasil. As áreas estão localizadas nos municípios de Gonzaga e Coroaci (figuras 1 e 2), tendo como referência as coordenadas UTM 767.000m W e 7.921.000m S, zona 23 sul, *datum* SAD-1969 e UTM 778.500m W e 7.939.000m S, zona 23 sul, *datum* SAD-1969, respectivamente.

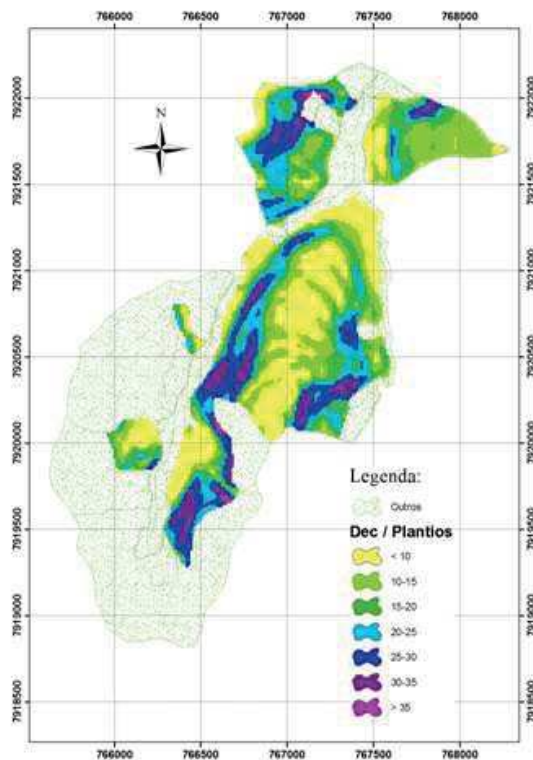


Figura 1 - Localização da área de pesquisa de Gonzaga, MG.  
Fonte: (Leite, 2012, p. 12).

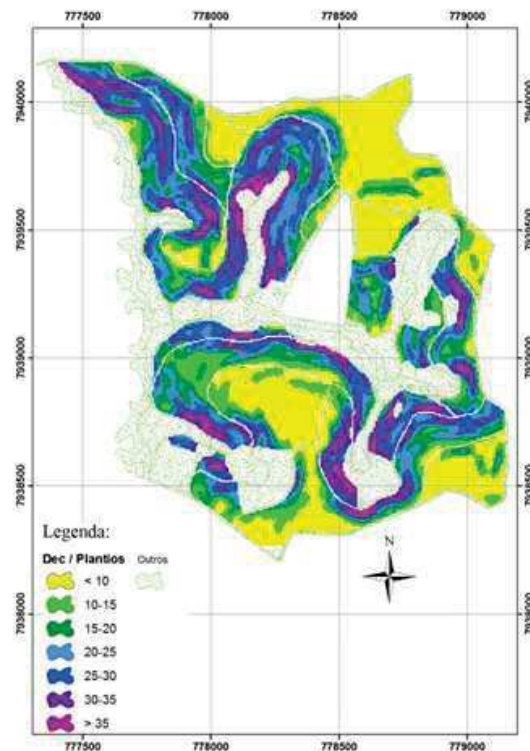


Figura 2 - Localização da área de pesquisa de Coroaci, MG.  
Fonte: (Leite, 2012, p. 12).

O clima da região é tropical, com temperaturas médias anuais entre 20 e 25 graus Celsius e média pluviométrica anual de 1.350 milímetros. Os solos são do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo.

As áreas de plantio de eucalipto são constituídas de variedades de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* tendo como característica a alta produtividade em regime de primeira rotação.

As unidades experimentais foram demarcadas relacionando os fatores de declividade do terreno e da produção de madeira da floresta. Cada parcela foi composta por quatro linhas com 25 árvores em cada linha, totalizando 100 indivíduos. As parcelas foram demarcadas com o auxílio de uma equipe responsável pelo inventário, para o efeito do volume de madeira por árvore. Para identificar os limites da unidade amostral, utilizou-se um spray de coloração luminosa vermelho para facilitar a visualização dos operadores das máquinas no interior da floresta.

## 2.2 Especificações do *Harvester*

O *Harvester* empregado foi o modelo 1270D da marca John Deere com motor John Deere 6081 e potência nominal de 160 kW (Figura 3). A sua operação inicia-se

quando o operador da máquina seleciona uma árvore, move o cabeçote *Harvester* para a posição de corte (vertical), em seguida o cabeçote envolve a árvore e efetua o corte. Então, move-se para a posição horizontal para executar o restante de suas funções (remoção da casca, galhos e corte das toras) sem soltar a árvore cortada.



Figura 3 – *Harvester* John Deere, modelo 1270D realizando a operação de descascamento e remoção de galhos.

Fonte: (Leite, 2012, p. 16).

O *Harvester* 1270D da John Deere possui transmissão hidrostática, rodado constituído por pneus BPAF com três eixos motrizes e apresenta esteiras metálicas unindo os pares dianteiros. O chassi é articulado para facilitar as manobras e todo o acionamento dos mecanismos é realizado pelo operador na cabine por meio de um *joystick* e uma variedade de botões localizados no painel. A cabine possui um sistema de nivelamento para os sentidos em aclave ou em declive para facilitar as operações realizadas pelo operador da máquina (Figura 4).

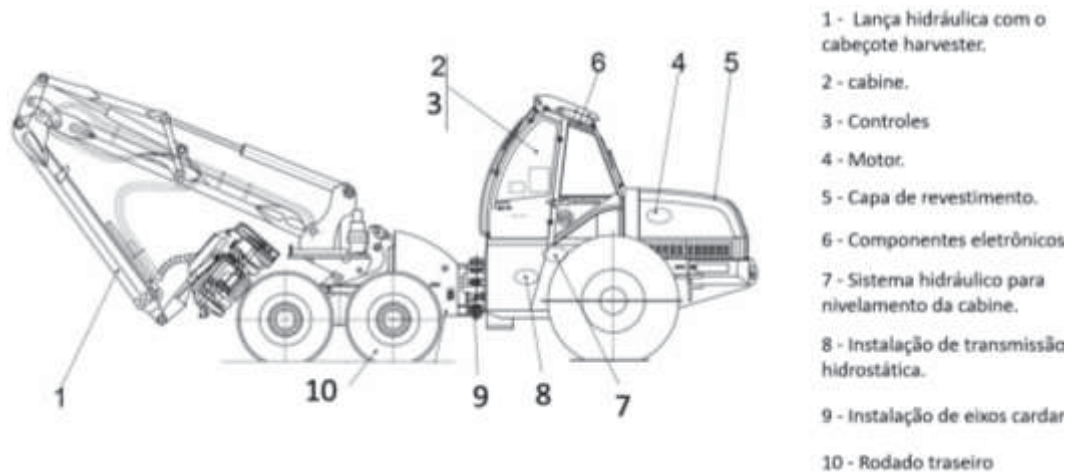


Figura 4 - Esquema com as principais partes *Harvester* John Deere, modelo 1270D  
 Fonte: (Imagem de divulgação)

O cabeçote *Harvester* está localizado na extremidade da sua lança (com 10 metros de comprimento) que é acionada pelo sistema hidráulico. O cabeçote possui com capacidade de corte de 4 até 62 cm de diâmetro (Figura 5).

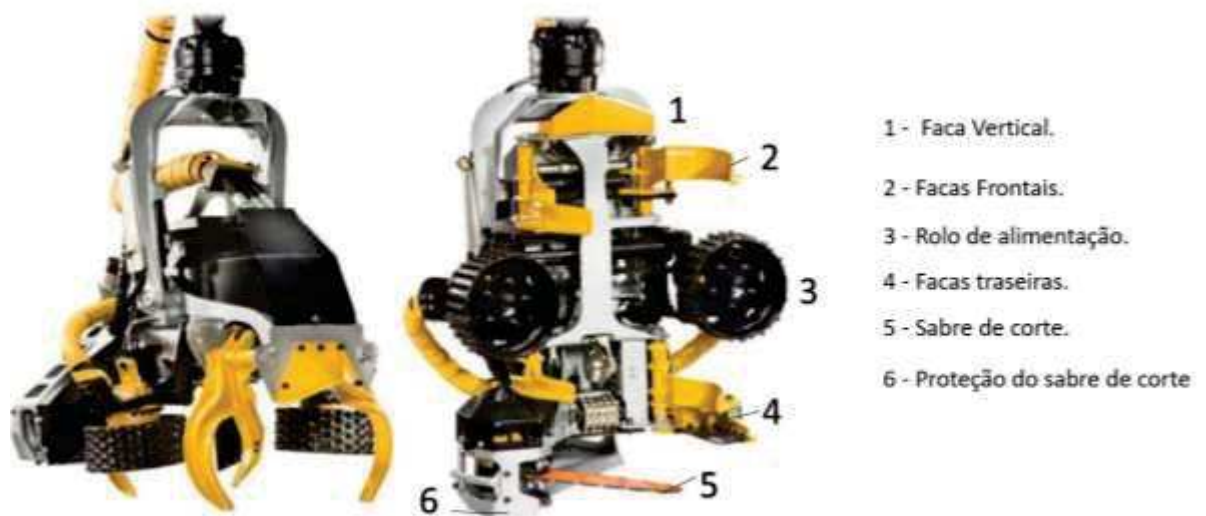


Figura 5 - Cabeçote *Harvester* com seus principais componentes  
 Fonte: (Imagem de divulgação)

### 2.3 Cálculos do Custo horário do *Harvester*

Realizou-se uma análise econômica para calcular o custo operacional do *Harvester*, sendo este calculado e expresso em dólares por hora efetiva de trabalho (US\$ h<sup>-1</sup>).

O custo operacional total é basicamente o resultado de um somatório de todos os custos provenientes da aquisição e operação da máquina. Foi obtido seguindo a

metodologia proposta por Silva *et al.* (2007), onde o resultado é obtido somando-se os custos fixos aos custos variáveis conforme a equação 1.

$$Ct = Cf + Cv \quad eq. 1$$

Em que

Ct = Custo total (US\$ h<sup>-1</sup>);

Cf = Custo fixo (US\$ h<sup>-1</sup>); e

Cv = Custo variável (US\$ h<sup>-1</sup>).

Os Custos fixos são aqueles provenientes do somatório dos custos parciais de Depreciação, Juros, Seguros e Impostos, Abrigo e Taxas administrativas, conforme equação 2. Esses custos, independem das horas de operação da máquina, não sofrendo influência do nível de trabalho efetuado ou pela quantidade de trabalho produzida pela máquina.

$$C_f = D + JSI + A + T \quad eq. 2$$

Em que:

D= Depreciação exponencial, (US\$ h<sup>-1</sup>);

JSI= Juros, Seguros e Impostos, (US\$ h<sup>-1</sup>);

A= abrigo, (US\$ h<sup>-1</sup>); e

T= taxas administrativas, (US\$ h<sup>-1</sup>).

Os custos variáveis são provenientes dos custos parciais associados à operação da máquina, ou seja, são calculados com base nas horas efetivas de trabalho. O custo variável foi obtido aplicando-se a equação 3

$$C_v = C + CL + Oh + Pe + MR + MO + TP + TM \quad eq. 3$$

Em que:

C= Custos de combustível, (US\$ h<sup>-1</sup>);

CL= Custos de lubrificantes, (US\$ h<sup>-1</sup>);

Oh= Custos de óleo hidráulico, (US\$ h<sup>-1</sup>);

Pe= Custos de pneus, (US\$ h<sup>-1</sup>);

MR= Custos de manutenção e reparos, (US\$ h<sup>-1</sup>);

MO= Custos de mão-de-obra, (US\$ h<sup>-1</sup>);

TP= Custos de transporte de pessoal, (US\$ h<sup>-1</sup>); e

TM= Custos de transporte de maquinário, (US\$ h<sup>-1</sup>).

#### 2.4 Dados

Os dados utilizados para a caracterização do objeto de estudo neste trabalho foram originalmente obtidos por Leite (2012). Na tabela 1, são apresentados os dados, onde os valores foram atualizados para julho de 2023. Os valores monetários foram expressos em dólar americano (US\$) oficial do Banco Central do Brasil. Considerou-se como taxa de câmbio para o preço da moeda americana o valor de R\$ 4,79, cotação do dia 14 de julho de 2023. A taxa de juros anuais era compatível com os valores apresentados pelo mercado. O valor do combustível foi verificado no site da Petrobras, enquanto valor de mão-de-obra foi atualizado com base no salário oferecido por empresas florestais que buscavam a contratação de operadores deste tipo de máquinas.

Tabela 1 - Valores utilizados no cálculo do custo operacional do Harvester

Itens	Valores
<b>Va= valor de aquisição do <i>Harvester</i> (US\$)</b>	824.634,66
<b>Vr= valor de revenda (10%)</b>	82.463,47
<b>N= vida útil económica (anos)</b>	10
<b>H= horas trabalhadas no ano (h/ano)</b>	5.889,60
<b>h= horas trabalhadas por dia (h/dia)</b>	24,00
<b>D= dias trabalhados por ano (d/ano)</b>	312,00
<b>E.O= eficiência operacional (%)</b>	0,80
<b>he= horas efetivas de uso anual (he/ano)</b>	4.711,68
<b>DM= dias trabalhados por mês (d/mês)</b>	26,00
<b>i= taxa de juros anuais (% a.a.)</b>	0,08
<b>S= seguros (% a.a.)</b>	0,02
<b>Ce= custo com combustível</b>	
preço do combustível (US\$/L)	2,09
consumo de combustível (L/h)	16,00
custo com óleo hidráulico (US\$/L)	0,20
custo com graxas e lubrificantes (US\$/L)	0,20
<b>Cp= custo com pneus (US\$/he)</b>	
P= preço do pneu (US\$ unid.)	3.757,83
Ne= número de pneus	6
vida útil do pneu (h/unid)	12.500,00
<b>CMO= custo com mão-de-obra (US\$/he)</b>	
salário do operador (US\$/mês)	918,58
número de operadores por máquina	3
encargos sociais (% sobre o salário)	1,74
despesas Sociais (US\$/mês)	679,75
<b>CTP= custo de transporte de pessoal (US\$/he)</b>	0,44
<b>CTM= custo de transporte do maquinário (US\$/he)</b>	0,33
<b>CAD= custo de administração das operações (US\$/he)</b>	0,23

Fonte: adaptado de Leite (2012).

Na tabela 1, são apresentados os componentes parciais que integram o custo, tanto fixo quanto variável e, a partir destes valores, é possível calcular os itens de Custo fixo e os itens de Custo variável, bem como o Custo total da máquina.

## 2.5 Análise de sensibilidade

Foi utilizado a técnica de simulação de Monte Carlo para realizar a análise de sensibilidade. Essa técnica possibilita a avaliação dos riscos associados as decisões, quantificando-os por meio da distribuição de probabilidade de variáveis predefinidas. De maneira geral, os custos relacionados às operações são mensurados e

reconhecidos, o que caracteriza a chamada abordagem de análise determinística, que apesar de sua conveniência, tende a simplificar e, por vezes, exagerar dados que não são definitivamente conhecidos durante a análise, como valores, quantidades e preços, entre outros. Uma maneira de reduzir esse impasse é optar por uma análise que considera as incertezas, onde se aplicam distribuições de probabilidade ligadas aos custos inerentes aos indicadores financeiros (Gama, 2005; Cordeiro *et al.*, 2010).

Novos indicadores são calculados através de valores aleatórios atribuídos às variáveis sujeitas a incertezas, seguindo as distribuições de probabilidade estabelecidas. Esse método é caracterizado pela construção de um modelo matemático a partir de amostras do problema, resultando em respostas probabilísticas. A simulação de Monte Carlo, é considerada um dos métodos numéricos mais flexíveis e práticos para uma análise dinâmica, explorando as incertezas do mundo real ao examinar o impacto da aleatoriedade nas variáveis predefinidas (Simioni; Hoeflich, 2006; Gonçalves *et al.*, 2017; Pereira, 2019).

Os dados foram analisados usando o software @RISK® (Palisade Corporation, 1995), em conjunto com planilhas eletrônicas. Este programa viabiliza a aplicação do método de Monte Carlo para simular valores destinados às variáveis a serem testadas. Foram realizadas 1.000 interações nas simulações com o objetivo de identificar as variáveis que mais impactam o Custo hora da máquina. Além disso, foram consideradas flutuações de -20% a +20% para essas variáveis, tomando como base a distribuição uniforme, onde cada valor possui a mesma probabilidade de ocorrência (Gama, 2005; Peternelli; Silva; Leite, 2006; Cordeiro *et al.*, 2010; Mun, 2012).

Foram realizadas duas simulações: Na primeira simulação (simulação 1) foram utilizados como variáveis de entrada (*inputs*) os seguintes itens de custos (ou componentes dos custos parciais): Valor de aquisição da máquina, Taxa de juros, Horas efetivas de trabalho no ano, Preço do combustível, Salário do operador. Essas variáveis de entrada foram utilizadas para verificar a influência sobre as variáveis de saída (*outputs*) que são: Custo Fixo Total (CFT), Custo Variável Total (CVT) e Custo Total (CT). Essas variáveis foram escolhidas por apresentarem a maior participação sobre os itens que compõem os custos parciais, conforme apresentado na tabela 1.

A segunda simulação teve como *inputs* os custos parciais fixos (Depreciação e Juros, Seguros e impostos) e os custo parciais variáveis (Mão-de-obra; Combustível; Lubrificantes; Pneus; Óleo hidráulico; Manutenção e reparos) afim de determinar os

impactos na variável de saída (*output*) Custo Total. Esses *inputs* foram escolhidos por apresentarem a maior participação percentual na formação do custo fixo e custo variável da máquina.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Custo total do *Harvester*

A tabela 2 refere-se ao conjunto de componentes do custo operacional do *Harvester*, indicando a porcentagem que cada um deles exerce sobre o valor do custo, bem como os valores monetários.

Tabela 2 - Componentes do custo operacional do *Harvester* John Deere, modelo 1270D, em dólares por hora efetiva trabalhada (US\$h<sup>-1</sup>) e porcentagem (%)

Custos	Itens	Siglas	US\$	% em relação ao custo parcial	% em relação ao custo total
Custos fixos	Depreciação	D	15,75	58,03	12,01
	Juros, seguros e impostos	JSI	8,33	30,69	6,35
	Abrigo	A	1,31	4,84	1,00
	Taxas administrativas	T	1,75	6,45	1,33
Subtotal			27,15	100	20,69
Custos variáveis	Combustível	C	33,47	32,16	25,51
	Lubrificantes	CI	6,69	6,43	5,10
	Óleo hidráulico	Oh	6,69	6,43	5,10
	Custo de pneus	PE	1,80	1,73	1,37
	Manutenção e reparos	MR	42,42	40,76	32,33
	Mão-de-obra	MO	12,21	11,74	9,31
	Transporte de pessoal	TP	0,44	0,43	0,34
	Transporte de maquinário	TM	0,33	0,32	0,25
Subtotal			104,06	100	79,31
Custo Total			131,21		100

Fonte: Dados da pesquisa

Nota-se pela tabela que o valor do Custo Fixo foi de US\$ 27,15 por hora efetiva de trabalho da máquina, além disso, o valor do Custo Variável foi de US\$ 104,06. Esses valores representam 20,69% e 79,31% respectivamente na composição do Custo Total da máquina, que foi de 131,21 dólares por hora. Nas figuras 6 e 7, pode-se observar a relação percentual dos componentes dos custos fixos e dos custos variáveis separadamente.

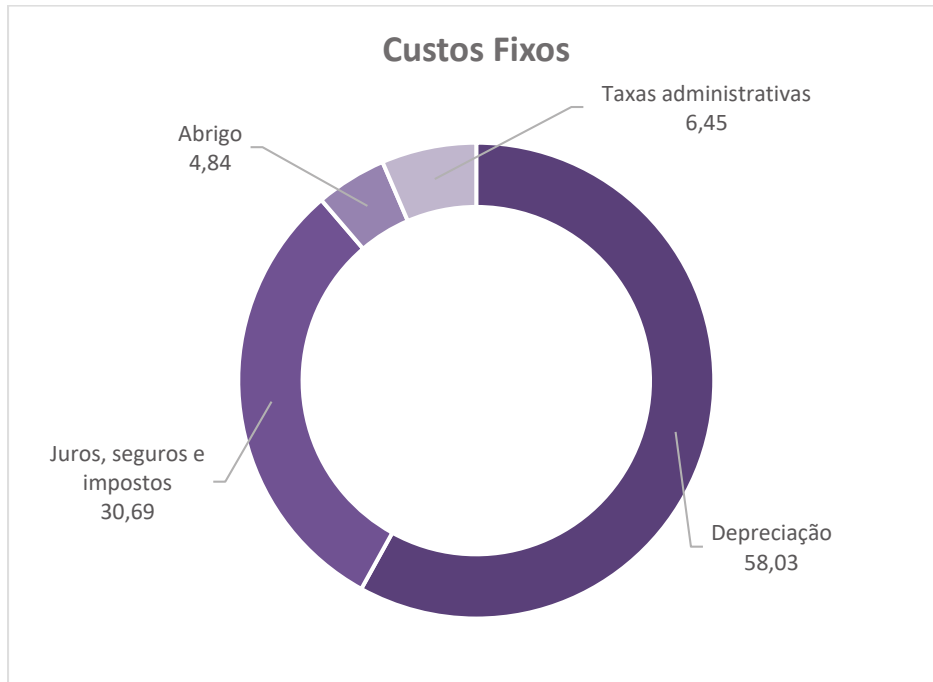


Figura 6– Representação em porcentagem dos componentes do Custo Fixo  
Fonte: Dados da pesquisa

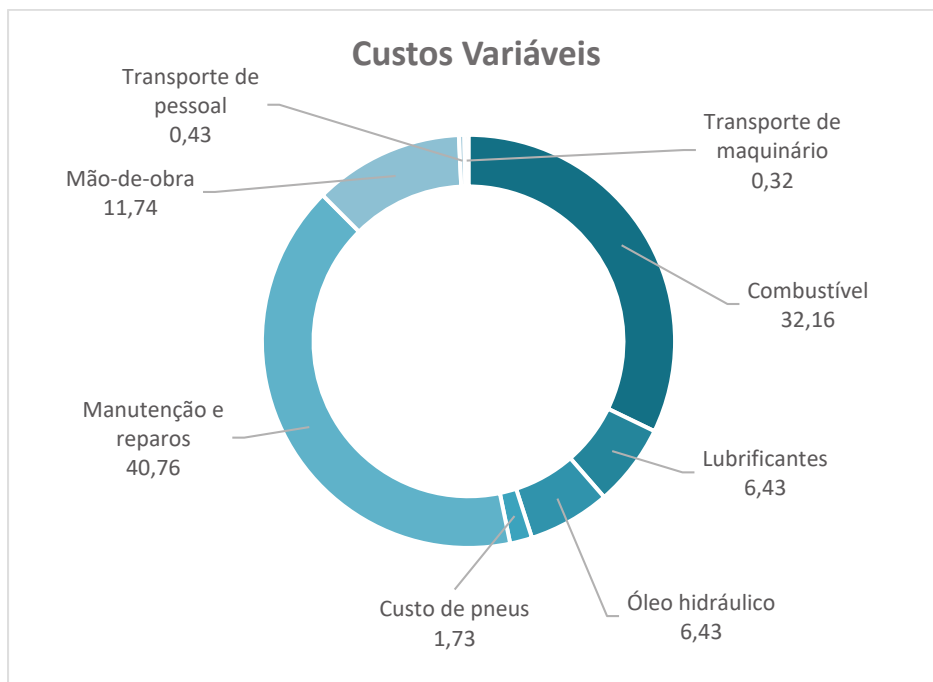


Figura 7 – Representação em porcentagem dos componentes do Custo Variável  
Fonte: Dados da pesquisa

Destaca-se que a depreciação apareceu em primeiro lugar, representando 58,03% do custo fixo total. Por outro lado, no âmbito dos custos variáveis, o combustível teve uma significativa representação de 32,16%. Esses números

ofereceram informações valiosas sobre a composição dos custos e puderam direcionar estratégias de otimização e gerenciamento dos recursos.

### 3.2 Análise de sensibilidade

Os resultados da simulação 1 podem ser observados na Figura 8, onde são apresentadas estatísticas descritivas como o valor máximo, mínimo e a média em dólares por hora, do custo de operação do *Harvester*.

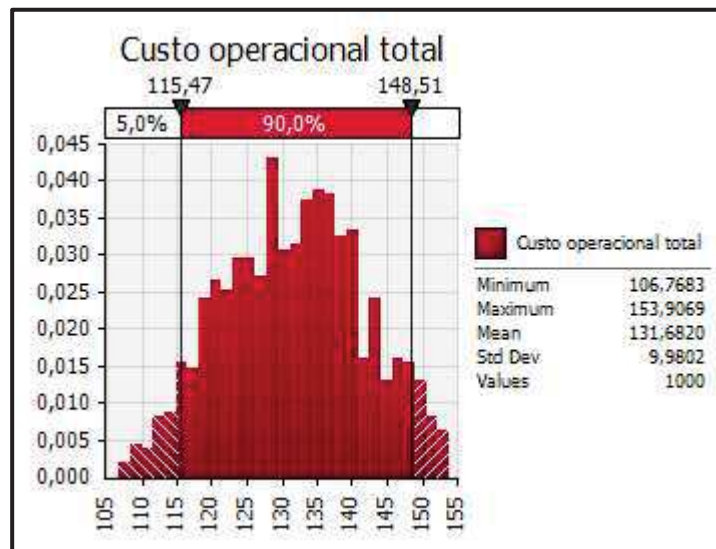


Figura 8 – Distribuição das probabilidades do custo total do *Harvester*, em US\$h<sup>-1</sup> gerados a partir da variação de  $\pm 20\%$  nos itens de custo.

Fonte: Dados da pesquisa.

Pode-se observar que o menor Custo Total associado a simulação 1 foi de 106,77 US\$h<sup>-1</sup>, enquanto o maior valor foi de 153,91 US\$h<sup>-1</sup>. Em 90% das vezes, o resultado mais provável será encontrado na faixa de valores que variam de 115,47 US\$h<sup>-1</sup> a 148,51 US\$h<sup>-1</sup>.

Na figura 9, os coeficientes de regressão demonstram a influência dos itens de custo (que integram o custo fixo e variável) no custo total.

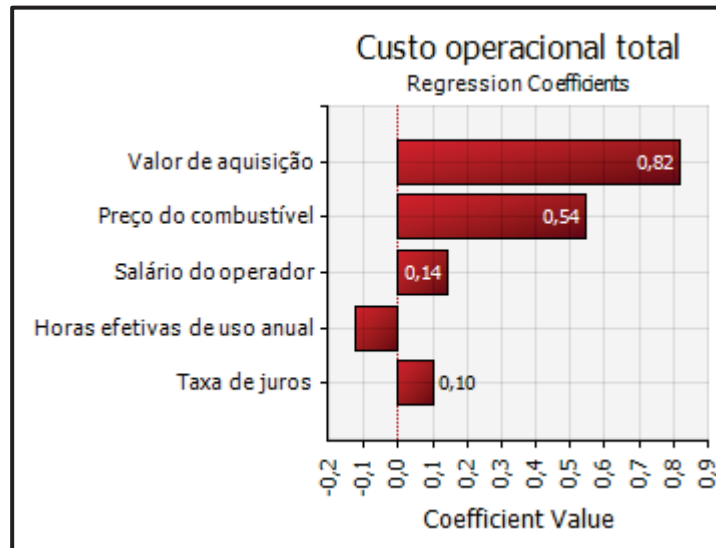


Figura 9 – Influência dos itens de custo no custo total do *Harvester*.  
Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se que o Valor de Aquisição é o item que mais exerceu influência sobre o custo total (um aumento de 10% no valor de aquisição provoca um aumento de 8,2% no custo total do *Harvester*). Já as Horas Efetivas de uso Anual atuaram diminuindo o custo total (um aumento de 10% nas Horas Efetivas de uso Anual do equipamento provocando uma redução de 1,1% no custo total, aproximadamente).

Os resultados da simulação 2 são observados na figura 10 a seguir onde são apresentadas estatísticas descritivas.

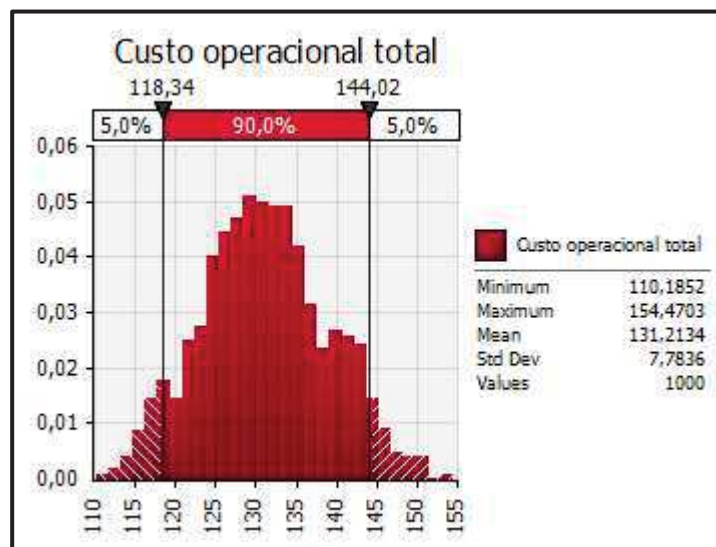


Figura 10 - Distribuição das probabilidades do custo total do *Harvester*, em US\$h<sup>-1</sup> gerados a partir da variação de  $\pm 20\%$  nos custos parciais.  
Fonte: Dados da pesquisa.

Pode-se observar que na simulação 2, em 90% dos casos, o resultado mais provável foi encontrado na faixa de valores que variam de 118,34 US\$h<sup>-1</sup> a 144,02 US\$h<sup>-1</sup>. O menor Custo Total associado foi de 110,18 US\$h<sup>-1</sup>, enquanto o maior valor foi de 154,47 US\$h<sup>-1</sup>.

Esses dados auxiliam na tomada de decisão sobre a compra ou aluguel de uma máquina. Com base na figura 10, supondo que o aluguel de um *Harvester* seja de 144,02 US\$h<sup>-1</sup>. Neste caso, se a empresa optar em adquirir o *Harvester*, em 95% dos casos, seu custo hora estaria abaixo do valor de aluguel. Sendo o risco de incorrer em prejuízo de 5%, ou seja, o custo hora do *Harvester* ficar acima do valor de aluguel.

Na figura 11, são avaliados os coeficientes de regressão associados aos custos fixos e variáveis. Nele é demonstrado a influência da participação de cada custo parcial em relação ao custo total.

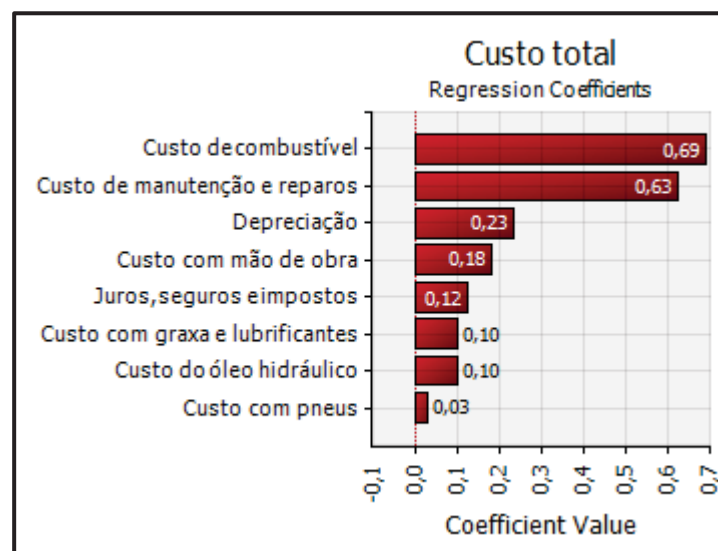


Figura 11 - Influência dos custos parciais no custo total do *Harvester*.

Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se que o Custo de Combustível e o Custo de Manutenção e Reparos são os custos que exerceram mais influência sobre o custo total. Um aumento de 10% nos valores do combustível provocaria aumento de 6,9% no custo total da máquina. De modo semelhante, o aumento de 10% nos custos de manutenção e reparos provocaria um aumento de 6,3%. O custo que menos influenciou é o Custo com Pneus, que ao sofrer um aumento de 10%, impactaria o custo total em 0,3%.

#### 4 CONCLUSÕES

A análise dos resultados deste trabalho proporcionou uma visão abrangente dos custos ligados à operação do *Harvester*. Os dados mostraram uma divisão clara entre custos fixos e variáveis, sendo a depreciação o principal componente dos custos fixos, enquanto o combustível se destacou como um fator relevante nos custos variáveis.

A análise identificou os principais fatores de custo – valor de aquisição, combustível e manutenção - que mais impactam o custo total. Simulações revelaram possíveis faixas de custo, fornecendo orientações para decisões estratégicas, como aquisição ou locação do *Harvester*, incluindo a probabilidade de riscos envolvidos.

Em resumo, o trabalho constituiu uma base para avaliar as opções econômicas do *Harvester*. Ao compreender as proporções de custos fixos e variáveis, incorporar simulações e reconhecer influências nos custos totais, os gestores ficam mais capacitados a tomar decisões, buscando otimização de recursos e benefícios econômicos maximizados.

## 5. REFERÊNCIAS

- BURLA, Everson Ramos. **Avaliação técnica e econômica do "Harvester" na colheita do eucalipto**. 2008. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3517/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- CORDEIRO, Sidney Araújo *et al.* Contribuição do fomento do órgão florestal de Minas Gerais na lucratividade e na redução de riscos para produtores rurais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 367-376, jun. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/YZNB65h4tTbSk8KvvPNc3nt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 ago. 2023.
- FREITAS, Karla Eunice de. **Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada**. 2005. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005. Disponível em: [http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/13100/Dissertacao\\_Karla%20Eunice%20de%20Freitas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/13100/Dissertacao_Karla%20Eunice%20de%20Freitas.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 15 ago. 2023.
- GAMA, Michelliny de Matos Bentes. Análise econômica de sistemas agroflorestais na Amazônia ocidental, Machadinho d'oeste - RO. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 401-411, ago. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/F7fbWLdFgPyh7BspjJpddYQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 ago. 2023.
- GONÇALVES, Juliana Carneiro, *et al.* Análise econômica da rotação florestal de povoamentos de eucalipto utilizando a simulação de Monte Carlo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1339-1347, dez. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/dFJNNqDX6bMpwsZXp5Vt3Sx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- LEITE, Elton da Silva. **Technical and economic modeling of a cut-to-length mechanized system forest**. 2012. 129 f. Tese (Doutorado em Mecanização agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/730/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 1 set. 2022
- MACHADO, Carlos Cardoso. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, 1989.
- MOREIRA, José Mauro Magalhães Ávila Paz; SIMIONI, Flávio José; BUSCHINELLI, Cláudio César de Almeida. A viabilização econômica da cultura do eucalipto. In: OLIVEIRA, Edilson Batista de; PINTO JÚNIOR, José Elidney. **O eucalipto e a Embrapa**: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2021. p. 907-940. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222877/1/Livro-Eucalipto.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.

MUN, J. **Risk Simulator**: manual do usuário. 2012. 228 p. Disponível em: <https://www.crystalballservices.com/Portals/0/eng/ROV/ROVSim/rsmanual-portuguese.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2023.

NASCIMENTO, Diego Weslly Ferreira do *et al.* Análise técnica e econômica do Harvester operando em dois subsistemas de colheita de madeira. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [S.L.], v. 24, n. 6, p. 484-490, 17 mar. 2017. Revista Engenharia na Agricultura. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v24i6.725>.

PEREIRA, Gilberto. **Estudo dos fatores de riscos técnico-econômico da operação de derrubada de árvores com Feller-Buncher utilizando o método de Monte Carlo**. 2019. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181264/pereira\\_g\\_me\\_botfca.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181264/pereira_g_me_botfca.pdf?sequence=3&isAllowed=y). Acesso em: 15 ago. 2023.

PETERNELLI, Luiz Alexandre *et al.* Uma proposta para a geração de amostras aleatórias nos problemas de simulação em modelos de planejamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 749-758, dez. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/MLZTH3H5RjJQ93hYvrvRw7z/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 ago. 2023.

SILVA, M. L. *et al.* Análise do custo e do raio econômico de transporte de madeira de reflorestamentos para diferentes tipos de veículos. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 31, n. 6, p. 1073-1079, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622007000600012>.

SIMIONI, Flávio José.; HOEFLICH, Vitor Afonso. Avaliação de Risco em Investimentos Florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], n. 52, p. 79, 2011. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/215>. Acesso em: 21 ago. 2023.

## Capítulo 2

# ANÁLISE DO MOMENTO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO DO HARVESTER POR DIFERENTES MÉTODOS E EFEITO DA DECLIVIDADE E VOLUME DE MADEIRA

### 1. INTRODUÇÃO

A determinação do momento ideal de substituição de uma máquina ou de um equipamento não é uma tarefa tão simples como pode-se pensar. É preciso definir e conhecer bem parâmetros como o horizonte de planejamento, os custos operacionais, os programas de manutenção e reparos, a depreciação do ativo, as taxas de juros e os critérios econômicos (Valverde; Rezende, 1997; Cesca, 2018).

A decisão de se substituir ou não um equipamento é, essencialmente, uma escolha entre dois projetos: a manutenção do equipamento existente ou a aquisição de um equipamento novo, que serão analisados do ponto de vista financeiro. A substituição, seja tardia ou prematura, leva a empresa a incorrer em perdas financeiras ou elevados custos operacionais, assim, estudos sobre substituição de máquinas e equipamentos são fundamentais na tomada dessa decisão (Marques *et al.*, 2005).

Via de regra, equipamentos sucateados são substituídos quando se encontram em processo de incapacidade operacional, num estado de desgaste que afeta principalmente a sua eficiência, fazendo com que, ao longo do tempo, decresça gradativamente a sua produtividade e a qualidade do serviço realizado. No entanto, nem toda a retirada envolve um sucateamento real, pois uma máquina ou equipamento dispensado por uma empresa pode ser vendida a outra ou reaproveitada em outras atividades dentro da própria empresa. Aspectos como a vida útil do equipamento e o seu valor residual são considerados na determinação do tempo ótimo de troca. Ao decidir sobre a substituição, pressupõe-se a definição e a prévia análise do horizonte de planejamento, do futuro do investimento e dos custos operacionais. Dessa forma, a substituição das máquinas florestais se mostra como uma atividade complexa, que resultará em importante tomada de decisão (Valverde; Rezende, 1997; Marques *et al.*, 2005; Cesca, 2018).

A introdução de novas técnicas para aumento da produtividade na colheita florestal contribuiu para que houvesse um alto investimento em máquinas e equipamentos. Essas máquinas possuem um elevado custo de aquisição e operação,

se fazendo, portanto, necessário que a jornada operacional seja extensa e/ou de uso intensivo, para a redução de custos. Porém as máquinas submetidas a essas condições de trabalho acabam gerando elevados custos de reparo e manutenção devido a desgastes precoces.

Esses desgastes podem ser minimizados com adoções de programas de manutenção eficientes, que prolongará o tempo de vida da máquina. No entanto, existem outros motivadores que justificam a troca por equipamentos mais funcionais, tais como melhores tecnologias, mudanças nos requerimentos dos serviços e nos próprios equipamentos, mudança na legislação tributária e casualidades, as quais podem resultar em redução de custos operacionais e aumento de eficiência.

O *Harvester* é um trator florestal definido como automotriz. Ele é constituído de uma máquina base automotriz com rodado de pneus de baixa pressão e alta flutuação (BPAF), esteiras metálicas ou mistas (pneus com esteiras). Ele é dotado de uma lança hidráulica para alcance das árvores que, em conjunto com o cabeçote, executam as operações de derrubada, desganhamento, descascamento, traçamento e embandeiramento da madeira (Leite *et al.*, 2013).

Vários fatores afetam o rendimento e custo operacional do *Harvester*. A inclinação do terreno e o volume das árvores são alguns dos principais fatores que impactam diretamente no custo operacional. Dependendo das condições estes fatores até inviabilizam a utilização desta máquina, seja pelo alto custo ou inadequação da máquina. Porém, poucos estudos econômicos analisaram estes fatores e seus efeitos no custo total e na idade de substituição do harvester.

No presente capítulo, objetiva-se de um modo geral, realizar uma análise do momento ótimo de substituição do *Harvester*. Como objetivos específicos, (a) Avaliar do momento ótimo, considerando diferentes métodos econômicos, tais como Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE), Relação Benefício/Custo (B/C), Custo Médio de Produção (CMP) e Custo Anual Equivalente (CAE); (b) verificar o impacto da declividade do terreno e do volume das árvores nas decisões de substituição da máquina.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização do *Harvester*

O *Harvester* é um equipamento de grande porte, desenvolvido para a colheita de madeira em florestas plantadas, sendo um equipamento versátil, que pode ser utilizado em diferentes tipos de terreno, incluindo terrenos inclinados.

O *Harvester* utilizado foi o modelo John Deere 1270D. É equipado com um motor John Deere 6081 de 215 hp (160 kW), transmissão hidrostática, uma lança hidráulica de 10 metros de comprimento e um cabeçote *Harvester* John Deere modelo 270, com capacidade de corte variando de 0,04 a 0,62 metros de diâmetro. Possui três eixos motrizes, chassi articulado para facilitar manobras, Pneus de Baixa Pressão e Alto Flutuação (BPAF), e os pneus traseiros foram preenchidos com 50% de água. Todo o controle dos mecanismos é realizado a partir da cabine, com um joystick e botões no painel. A cabine possui um sistema de nivelamento para operações em terrenos inclinados.

A colheita acontece da seguinte maneira. O operador seleciona uma árvore e a corta após o cabeçote envolvê-la na posição vertical. Em seguida, o *Harvester* realiza o descascamento, remoção de galhos e corte das toras na posição horizontal, mantendo a árvore presa. O período operacional desta máquina é composto por três turnos diários de 8 horas cada.

### 2.2 Caracterização do sistema de colheita

O sistema de toras curtas é um método de colheita florestal que utiliza máquinas para derrubar e processar as árvores. Neste método de colheita as todas as atividades (corte, descascamento, desgalhamento e traçamento) são realizadas no local.

No Brasil, esse método é o mais utilizado para a colheita de eucalipto e a produtividade obtida por esse sistema depende de fatores que incluem a produtividade do povoamento e a declividade do terreno. Estudos têm mostrado que a produtividade aumenta à medida que o volume por árvore aumenta, mas diminui com o aumento da inclinação do terreno (Fernandes *et al.*, 2013).

### 2.3 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado na região do Rio Doce, no estado de Minas Gerais, em áreas de plantação de clones híbridos de *Eucalyptus Grandis* e *Eucalyptus Urophylla*, que tem como característica genética alta produtividade na primeira rotação.

As árvores foram plantadas com um espaçamento de 3 m entre plantas e 3,33 m entre filas, com idades variando de 6 a 9,5 anos. O plantio foi feito em linhas perpendiculares às curvas de nível em terrenos íngremes.

A região apresenta predominância de solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, clima tropical com estação seca de inverno, uma precipitação média anual de 1.350 mm, temperatura média anual de 25,2°C e uma umidade relativa de 65,2%.

Demarcou-se 190 parcelas, onde o volume de madeira sem casca por árvore variou de 0,1320 a 0,4255 m<sup>3</sup>, dependendo da declividade, e o terreno variou de 0° a 36°. Cada parcela foi composta por 100 árvores, organizadas em quatro linhas de 25 árvores cada. Realizou-se um inventário para medir a altura, o diâmetro à altura do peito (DAP) e o volume médio das árvores por parcela. A medição da declividade do terreno foi realizada com um clinômetro da marca Haglöf Sweden.

O volume de madeira sem casca foi calculado a partir do volume total do fuste, descontando-se o volume da casca e ponteira (diâmetro < 0,04 m).

### 2.4 Custo de operação do *Harvester*

Na Tabela 1 são exibidos os diversos itens que são utilizados para o cálculo dos custos fixos, custos variáveis, bem como o custo total ou operacional do *Harvester*. Essas informações foram obtidas por Leite (2012) e posteriormente tiveram alguns valores corrigidos e atualizados para julho de 2023.

Tabela 1- Valores utilizados no cálculo do custo operacional do *Harvester*

Itens	Valor
Va = valor de aquisição do <i>Harvester</i> (US\$)	824634,66
Vr = valor de revenda (10%)	82463,47
N = vida útil económica (anos)	10,00
H = horas trabalhadas no ano (h/ano)	5889,60
h = horas trabalhadas por dia (h/dia)	24,00
D = dias trabalhados por ano (d/ano)	312,00
E.O = eficiência operacional (%)	0,80
he = horas efetivas de uso anual (he/ano)	4711,68
DM = dias trabalhados por mês (d/mês)	26,00
i = taxa de juros anuais (% a.a.)	0,08
S = seguros (% a.a.)	0,02
Ce = custo com combustível	0,00
preço do combustível (US\$/L)	2,09
consumo de combustível (L/h)	16,00
custo com óleo hidráulico (US\$/L)	0,20
custo com graxas e lubrificantes (US\$/L)	0,20
Cp = custo com pneus (US\$/he)	0,00
P = preço do pneu ((US\$unid.)	3757,83
Ne = número de pneus	6,00
vida útil do pneu (h/unid)	12500,00
CMO = custo com mão-de-obra ((US\$/he)	0,00
salário do operador ((US\$/mês)	918,58
número de operadores por máquina	3,00
encargos sociais (% sobre o salário)	1,74
despesas Sociais (US\$/mês)	679,7494781
CTP = custo de transporte de pessoal (US\$/he)	0,442588727
CTM = custo de transporte do maquinário (US\$/he)	0,329853862
CAD = custo de administração das operações (US\$/he)	0,229645094

Fonte: Dados da pesquisa

Na Tabela 2 são detalhados os valores correspondentes aos componentes do Custo Fixo, do Custo Variável e o valor do Custo Total. Essa análise proporciona uma visão abrangente dos custos associados à operação da máquina, permitindo uma compreensão do impacto financeiro em relação às horas efetivas de trabalho que a máquina exerce.

Tabela 2 - Componentes do custo operacional do *Harvester* John Deere, modelo 1270D, em dólares por hora efetiva trabalhada (US\$h<sup>-1</sup>)

Custos	Itens	Siglas	US\$
Custos fixos	Depreciação	D	15,75
	Juros, seguros e impostos	JSI	8,33
	Abrigo	A	1,31
	Taxas administrativas	T	1,75
Subtotal			27,15
Custos variáveis	Combustível	C	33,47
	Lubrificantes	CI	6,69
	Óleo hidráulico	Oh	6,69
	Custo de pneus	PE	1,80
	Manutenção e reparos	MR	42,42
	Mão-de-obra	MO	12,21
	Transporte de pessoal	TP	0,44
	Transporte de maquinário	TM	0,33
Subtotal			104,06
Custo Total			131,21

Fonte: Dados da pesquisa

Compreender as proporções de custos fixos e variáveis auxiliam em uma tomada de decisão mais assertiva, buscando a otimização e a eficiência na alocação dos recursos e a maximização dos benefícios econômicos. O custo total do *Harvester* de US\$131,21 por hora efetiva de trabalho foi uma das informações chave para determinação do momento ótimo de substituição da máquina.

## 2.5 Produtividade do *Harvester* e influência da declividade e do volume da árvore

A declividade de um terreno e o volume das árvores são de suma importância para a operacionalização da máquina no interior da floresta. Leite (2012) realizou um estudo de tempo e movimento para determinar o tempo efetivo do ciclo operacional do *Harvester*, onde o tempo de cada ação realizada pela máquina durante a colheita foi contabilizado em dois sentidos de deslocamento: Aclive, referente ao deslocamento do corte das árvores realizado morro acima, e Declive, referente ao corte das árvores realizado morro abaixo.

A produtividade foi obtida pela razão entre o volume médio da unidade amostral, sem casca, pelas horas efetivas de trabalhadas (equação 1).

$$P = \frac{Vol.}{he} \quad eq. 1$$

Onde:

P = produtividade ( $m^3 h^{-1}$ );

Vol = volume ( $m^3$ ) e;

he = horas efetivas trabalhadas (h)

A produtividade para o local de estudo, conforme Leite (2012), foi calculada da seguinte maneira: para declive (equação 2) e para aclive (equação 3).

$$P. \text{ declive} = 12,78 - 0,013 * d^2 + 0,18 * d - 140,6 * v^2 + 100,7 * v - 0,16 * d * v \quad eq. 2$$

Onde:

P.declive = produtividade do *Harvester* no sentido de declive ( $m^3h^{-1}$ );

d=declividade (graus) e

v=volume por árvore (m)

$$P. \text{ aclive} = 0,062 - 0,015 * d^2 + 0,42 * d - 103,6 * v^2 + 143,3 * v - 0,97 * d * v \quad eq. 3$$

Onde:

P.aclive = produtividade do *Harvester* no sentido de declive ( $m^3h^{-1}$ );

d=declividade (graus) e

v=volume por árvore (m)

As equações 2 e 3 foram utilizadas para verificar como a declividade e o volume das árvores afetaram o momento ótimo de substituição do *Harvester*.

2.6 Indicadores econômicos utilizados para determinação do momento ótimo de substituição do *Harvester*

### 2.6.1 Valor Presente Líquido

O Valor Presente Líquido (VPL) é obtido pela diferença algébrica entre as receitas e os custos atualizados pela taxa de desconto. Um VPL positivo indica que o projeto é economicamente viável. Assim, considerando que a escolha entre manter um *Harvester* ou substituí-lo por uma máquina nova, nada mais é que uma escolha

entre dois projetos, o projeto que apresentar o melhor VPL é considerado a melhor escolha (Silva; Fontes, 2005).

O VPL não considera que o projeto poderá se repetir, sendo assim o tempo ótimo para realizar a substituição da máquina será obtido buscando o ponto de máximo lucro para um único ciclo de vida da máquina. Para uso desse método, é necessária a definição de uma taxa de desconto (Silva; Fontes, 2005). O VPL é dado pela equação 4.

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j} \quad eq. 4$$

Em que:

VPL = Valor Presente Líquido (US\$);

R<sub>j</sub> = Valor da receita no período j (US\$);

C<sub>j</sub> = valor do custo no período j (US\$);

i = Taxa de juros (%)

j = Período de ocorrência das receitas e custos (anos); e

n = período de uso da máquina (duração do projeto) (em anos).

### 2.6.2 Valor Anual Equivalente

O Valor Anual Equivalente (VAE), converte o VPL em um fluxo contínuo e periódico de receitas ou despesas ao longo da vida útil do projeto em análise. O projeto será considerado economicamente viável se apresentar VAE positivo, indicando que os benefícios (receitas) periódicos são maiores que os custos periódicos. O projeto a ser escolhido será aquele que apresentar o maior VAE, para determinada taxa de desconto. Pode-se calcular o VAE de um projeto pela equação 5 (Silva; Fontes, 2005).

$$VAE = \frac{VPL * i}{1 - (1+i)^{-n}} \quad eq. 5$$

Em que:

VAE = Valor Anual Equivalente (US\$);

VPL = Valor Presente Líquido (US\$);

i = Taxa de juros (%); e

n = período de uso da máquina (duração do projeto) (em anos).

### 2.6.3 Razão Benefício Custo

A Razão Benefício/Custo (B/C) é um indicador de eficiência econômico-financeira, que sugere o retorno dos investimentos, estabelecendo uma relação entre a receita total e as despesas necessárias para realizá-la. Essa relação indica quantas unidades de capital obtidas como benefícios são geradas para cada unidade de capital investido (Dossa *et al.*, 2000). Projetos com uma razão B/C superior à unidade são consideradas economicamente viáveis e quanto maior for o B/C, mais atrativo economicamente será o projeto (Miranda *et al.*, 2014; Donato *et al.*, 2017).

A Razão Benefício Custo foi obtida pela equação 6.

$$B/C = \frac{\sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j}} \quad eq. 6$$

Em que:

B/C = razão benefício/custo.

R<sub>j</sub> = Valor da receita no período j (US\$);

C<sub>j</sub> = valor do custo no período j (US\$);

i = taxa de desconto (% ao ano);

j = Período de ocorrência das receitas e custos (anos); e

n = período de uso da máquina (duração do projeto) (em anos).

### 2.6.4 Custo Médio de Produção

O Custo Médio de Produção (CMP) foi obtido pela divisão do valor presente dos custos gerados pela produção total equivalente, sendo essa produção o somatório das quantidades produzidas em cada período j, descontadas para o período zero, considerando-se a taxa de juros (SILVA *et al.*, 2007).

O CMP foi calculado pela equação 7, determina quanto custa produzir uma unidade do produto e ajuda a entender, por exemplo, quantos dólares são necessários para produzir um metro cúbico de madeira.

$$CMP = \frac{\sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n PT_j (1+i)^{-j}} \quad eq.7$$

Em que:

CMP= Custo Médio de Produção (US\$/m<sup>3</sup>);

C<sub>j</sub> = valor do custo no período j (US\$);

i = taxa de desconto (% ao ano);

j = Período de ocorrência das receitas e custos (anos);

n = período de uso da máquina (duração do projeto) (em anos); e

PT<sub>j</sub> = produção total ocorrida no período j (em m<sup>3</sup>).

#### 2.6.5 Custo Anual Equivalente (CAE)

O Custo Anual Equivalente (CAE) transforma o valor dos custos atualizados pela taxa de desconto gerados pelo projeto (máquina), o qual será chamado de Vac, em fluxo de custos periódicos e contínuos, que se estende durante toda a vida útil produtiva do projeto. Deste modo, o CAE permite mensurar a vida econômica dos ativos imobilizados. Obtém-se o CAE pela equação 8 (Bassoli *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2018).

$$CAE = \frac{VCa * i}{1 - (1+i)^{-n}} \quad eq.8$$

CAE = Custo Anual Equivalente (US\$);

Vac = Valor Atual dos Custos (US\$);

i = Taxa de juros (%); e

n = período de uso da máquina (duração do projeto) (em anos).

A substituição da máquina será considerada viável quando o CAE for mínimo, correspondendo assim a sua vida econômica e, portanto, o melhor momento para a escolha do novo projeto.

### 3. RESULTADOS

Os resultados apresentados na tabela 3 foram obtidos considerando uma declividade de 10° (tanto para o sentido de operação em declive, quanto no sentido de acente) e um volume médio por árvore foi de 0,273 m<sup>3</sup>. Considerou-se ainda um preço da operação total da colheita de US\$ 4,70/m<sup>3</sup> para o cálculo da receita do

*Harvester* (esse valor foi definido com base no custo médio de produção mais uma pequena margem de lucro).

Tabela 3 – Valor residual, custos e receitas corrente e descontado, em US\$1000, produção equivalente em 1000 m<sup>3</sup>, considerando 10° de declive e a cive e volume de 0,227 m<sup>3</sup>, a um preço da operação total da colheita de US\$ 4,70/m<sup>3</sup>.

Anos	Valor Residual	Valor Atual do Valor Residual	Custo Total Anual	Receita Anual	Valor Atual do Custo	Valor Atual do Custo Acumulado	Valor Atual da Receita	Valor Atual da Receita Acumulada	Produção Equivalente	Produção Equivalente Acumulada
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)
Declive										
1	655,03	606,51	421,72	661,31	390,49	390,49	612,33	612,33	130,28	130,28
2	520,31	446,08	455,36	661,31	390,40	780,88	566,97	1179,29	120,63	250,91
3	413,30	328,09	484,99	661,31	385,00	1165,88	524,97	1704,27	111,70	362,61
4	328,29	241,31	512,13	661,31	376,43	1542,32	486,08	2190,35	103,42	466,03
5	260,77	177,48	537,50	661,31	365,81	1908,13	450,08	2640,43	95,76	561,79
6	207,14	130,53	561,50	661,31	353,84	2261,97	416,74	3057,17	88,67	650,46
7	164,54	96,01	584,41	661,31	341,00	2602,97	385,87	3443,03	82,10	732,56
8	130,70	70,61	606,42	661,31	327,63	2930,60	357,29	3800,32	76,02	808,58
9	103,82	51,93	627,67	661,31	313,99	3244,59	330,82	4131,14	70,39	878,97
10	82,46	38,20	648,25	661,31	300,26	3544,85	306,32	4437,46	65,17	944,14
Aclive										
1	655,03	606,51	421,72	698,43	390,49	390,49	646,70	646,70	137,60	137,60
2	520,31	446,08	455,36	698,43	390,40	780,88	598,79	1245,49	127,40	265,00
3	413,30	328,09	484,99	698,43	385,00	1165,88	554,44	1799,93	117,97	382,96
4	328,29	241,31	512,13	698,43	376,43	1542,32	513,37	2313,30	109,23	492,19
5	260,77	177,48	537,50	698,43	365,81	1908,13	475,34	2788,64	101,14	593,33
6	207,14	130,53	561,50	698,43	353,84	2261,97	440,13	3228,77	93,65	686,97
7	164,54	96,01	584,41	698,43	341,00	2602,97	407,53	3636,30	86,71	773,68
8	130,70	70,61	606,42	698,43	327,63	2930,60	377,34	4013,65	80,29	853,97
9	103,82	51,93	627,67	698,43	313,99	3244,59	349,39	4363,04	74,34	928,31
10	82,46	38,20	648,25	698,43	300,26	3544,85	323,51	4686,55	68,83	997,14

Os dados apresentados na Tabela 3 constituem a base essencial para análise e cálculo dos indicadores econômicos. Essa abordagem orientada pelos indicadores, desempenham um papel fundamental na determinação do momento mais propício para a substituição da máquina.

Na tabela 4, são apresentados os indicadores econômicos para a substituição do *Harvester*.

Tabela 4 – Indicadores financeiros para diferentes idades do *Harvester* considerando 10° de Declive e/ou Aclive e volume médio por árvore de 0,273 m<sup>3</sup>

Anos	VPL (US\$)	VAE (US\$/ano)	B/C	CMP (US\$/m <sup>3</sup> )	CAE (US\$/ano)
Declive					
1	3.715,77	4.013,03	1,0031	4,67	657.298,92
2	19.859,38	11.136,53	1,0124	4,62	650.175,42
3	41.833,50	16.232,80	1,0210	4,58	645.079,15
4	64.701,65	19.534,77	1,0273	4,56	641.777,17
5	85.140,60	21.324,01	1,0312	4,55	639.987,93
6	101.094,33	21.868,26	1,0328	4,54	639.443,69
7	111.436,57	21.403,89	1,0325	4,55	639.908,06
8	115.696,60	20.132,92	1,0308	4,56	641.179,03
9	113.849,95	18.225,07	1,0280	4,57	643.086,88
10	106.163,88	15.821,55	1,0243	4,59	645.490,40
Aclive					
1	38.087,74	41.134,76	1,0313	4,42	657.298,92
2	86.057,26	48.258,27	1,0536	4,38	650.175,42
3	137.499,81	53.354,54	1,0691	4,34	645.079,15
4	187.653,55	56.656,51	1,0793	4,32	641.777,17
5	233.356,92	58.445,75	1,0854	4,31	639.987,93
6	272.703,64	58.989,99	1,0884	4,30	639.443,69
7	304.706,06	58.525,63	1,0889	4,31	639.908,06
8	329.021,80	57.254,65	1,0876	4,31	641.179,03
9	345.745,27	55.346,80	1,0850	4,33	643.086,88
10	355.253,74	52.943,28	1,0813	4,34	645.490,40

$VPL = i - g + c - Va$ ;  $VAE = (VPL * taxa\ de\ juros) / (1 - (1 + taxa\ de\ juros)^{-a})$ ;  $B / C = (i + c) / (g + Va)$ ;  $CMP = (g - c + Va) / k$ ;  $CAE = ((VPL - i) * taxa\ de\ juros) / (1 - (1 + taxa\ de\ juros)^{-a})$ ;  $Va = Valor\ de\ aquisição\ da\ máquina$ ; taxa de juros = 0,08 % a

Os indicadores, cada um com seu critério, evidenciaram a viabilidade do projeto e o quanto ele traz de retorno financeiro. Evidenciou também, o custo médio para se obter o metro cúbico de madeira além de demonstrar os custos anuais que o projeto traz durante toda a sua vida útil.

Tanto o VPL quanto o VAE apresentaram-se positivos, indicando assim que, para esse caso, os valores das receitas superam os custos, fazendo com que o projeto se tornasse viável. Pelo VPL, pode-se observar que a máquina inicia dando um retorno positivo, ou seja, apresentando lucro a partir do seu primeiro ano, tanto no sentido de

declive quanto no sentido de aclave. Observa-se que no sentido de declive inicia-se dando um retorno financeiro de US\$ 3.715,77 enquanto para o aclave, este valor inicial é de US\$ 38.087,74 e ambos aumentam gradativamente.

Esse lucro tendeu a aumentar ao longo dos anos até atingir o seu maior valor (oito anos para declive e 10 anos para aclave) e logo após diminui gradativamente para o declive. Vale destacar que o VPL não considera que o projeto possa se repetir, portanto tenta sempre obter o máximo de lucro possível, o que justifica o aproveitamento da máquina durante todo o período do projeto (10 anos).

Ao converter o VPL em um fluxo contínuo e periódico de caixa (VAE) observou-se que de igual forma seu valor aumentou gradativamente até atingir o seu máximo em 6 anos, que corresponde a US\$ 21.868,26 por ano, para o declive e a US\$ 58.989,99 por ano para o aclave. Em ambos os sentidos analisados, indicou que o crescimento do retorno sobre o investimento é positivo e crescente, e passado o período de máximo lucro, seu valor tende a cair pouco a pouco.

O B/C superior a uma unidade demonstrou que o projeto é economicamente atrativo. Percebeu-se que existe um aumento da razão B/C até 6 anos, para o declive e 7 no para o aclave, que corresponder a 1,0328 e 1,0889 respectivamente. A partir deste ponto, mesmo que o projeto continue sendo viável e gerando lucro, a sua porcentagem irá diminuir.

O CMP esteve abaixo do preço da operação total da colheita, considerado neste trabalho, de US\$ 4,70/m<sup>3</sup>, o que garante a lucratividade do projeto. Conforme a tabela 4, em ambos os sentidos a idade ideal para a substituição é de seis anos, quando se atinge o menor CMP, com o valor de US\$ 4,54 por metro cúbico para declive e US\$ 4,30 por metro cúbico para aclave.

Pode-se analisar o CMP sob duas óticas. Caso a empresa seja proprietária da máquina, o ideal é obter-se um maior lucro, diminuído o seu custo médio de produção. Caso a empresa opte por contratar terceirizados ou alugar máquinas, para efetuar a colheita, não é interessante para o contratado receber um valor tão perto do seu custo médio de produção, pois deste modo o seu lucro seria mínimo ou até mesmo ficaria no prejuízo.

Observou-se que o CAE apresentou os mesmos resultados para o sentido de declive e aclave. Esse método considera que a produção da máquina será constante ao longo de toda sua vida útil, ou seja, a quantidade produzida não irá decair do primeiro ao décimo ano analisado, deste modo a receita proporcionada pelo método

é constante durante todo esse período. Segundo este método, a idade ideal para que se ocorra a substituição do *Harvester* é aos 6 anos, quando ele custará US\$ 639.443,69 por ano em ambos os sentidos.

Feitas tais considerações, na tabela 5, observa-se um resumo dos indicadores que apontam o momento ótimo de substituição para cada método analisado.

Tabela 5 - Resumo com os indicadores que apontam o momento ótimo de substituição do *Harvester*

Métodos	Valor	Ano
Declive		
VPL (US\$)	115.696,60	8
VAE (US\$/ano)	21.868,26	6
B/C	1,0328	6
CMP (US\$/m <sup>3</sup> )	4,54	6
CAE (US\$/ano)	639.443,69	6
Aclive		
VPL (US\$)	355.253,74	10
VAE (US\$/ano)	58.989,99	6
B/C	1,0889	7
CMP (US\$/m <sup>3</sup> )	4,30	6
CAE (US\$/ano)	639.443,69	6

Embora as idades de substituição possam ser divergentes para o VPL e B/C, ao comparar a situação de declive e aclive, o momento ideal para a substituição da máquina irá ocorrer majoritariamente aos 6 anos, evitando-se assim perdas financeiras.

Para verificar a influência da declividade do terreno no momento ótimo de substituição, utilizou-se o VAE como método adotado. Verificou-se o comportamento dos valores obtidos por esse método quando alterado o volume médios das árvores e a declividade do terreno. Os resultados são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Influencia da declividade e do volume no Valor Anual Equivalente (VAE) e no momento ótimo de substituição do *Harvester*

DECLIVE				
VOLUME				
DECLIVIDADE		0,132	0,2625	0,4255
	0 a 12	VAE = US\$ -105.577,51	VAE = US\$ 22.386,29	VAE = US\$ 33.223,14
		Idade = 6 anos	Idade = 6 anos	Idade = 6 anos
	12 a 24	VAE = US\$ -146.276,43	VAE = US\$ - 23.870	VAE = US\$ - 19.945,87
		Idade = 6 anos	Idade = 6 anos	Idade = 6 anos
	24 a 36	VAE = US\$ - 269.867,84	VAE = US\$ - 153.019,28	VAE = US\$ - 156.025,37
Idade = 6 anos		Idade = 6 anos	Idade = 6 anos	
ACLIVE				
VOLUME				
DECLIVIDADE		0,132	0,2625	0,4255
	0 a 12	VAE = US\$ -232.326,74	VAE = US\$ 46.866,77	VAE = US\$ 285.835,04
		Idade = 6 anos	Idade = 6 anos	Idade = 6 anos
	12 a 24	VAE = US\$ -250.407,61	VAE = US\$ -4852,62	VAE = US\$ 192.099,68
		Idade = 6 anos	Idade = 6 anos	Idade = 6 anos
	24 a 36	VAE = US\$ -364.154,42	VAE = US\$ -152.237,98	VAE = US\$ 2.698,37
Idade = 6 anos		Idade = 6 anos	Idade = 6 anos	

Observando-se a tabela 6, identificou-se que o projeto de colheita com *Harvester* somente é viável nas seguintes condições para o sentido declive: (1) operando em uma declividade de 0 a 12 graus e para a classe de volume de 0,2625, quando o VAE é igual a US\$ 22.386,29 por ano; (2) operando em uma declividade de 0 a 12 graus com um volume médio de 0,4255, quando o VAE é igual a US\$ 33.223,14 por ano. Para qualquer outra faixa de declividade em declive, independente do volume, o projeto não é considerado viável a um preço da operação total da colheita de US\$ 4,70/m<sup>3</sup>.

Para o sentido aclave, o projeto é considerado viável nas seguintes condições: (1) operando em uma declividade de 0 a 12 graus com um volume médio de 0,2625, quando o VAE é igual a US\$ 46.866,77 por ano; (2) para o volume médio de 0,4255, em qualquer declividade.

Contudo, verificou-se que a idade de substituição não é afetada nessas condições de variação no volume médios das árvores ou faixas de declividade. No entanto, tais variações afetam a viabilidade da atividade de colheita. Neste caso, é possível se questionar se seria inviável usar essa máquina para colher em determinados lugares. Esta questão é solucionada quando se estabelece uma nova negociação nos preços US\$/m<sup>3</sup>, adequando-se às condições de topografia do terreno, assim como o volume da madeira, a fim de tornar viável a colheita.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise dos indicadores financeiros, desempenham um papel crucial na determinação do momento ótimo para a substituição do *Harvester*. Ao considerar os indicadores VPL, VAE, B/C, CMP e o CAE, observa-se que, para ambos os sentidos, declive e aclone, a máquina demonstra viabilidade econômica ao longo de sua vida útil, para a faixa de 10° e volume de médio de 0,273 m<sup>3</sup>.

Os resultados demonstram para todos os métodos a operação com o *Harvester* é viável, sendo que a determinação da idade para a substituição, realizada por diferentes métodos, converge majoritariamente para seis anos em ambas as direções topográficas.

A análise pelo VAE mostra que a viabilidade do projeto é sensível à declividade do terreno e ao volume médio das árvores. Condições específicas, como uma declividade de 0 a 12 graus e um determinado volume médio, tornam o projeto viável, enquanto variações nessas condições podem impactar a viabilidade da colheita, demandando uma revisão nas negociações de preços para garantir a rentabilidade.

Assim, embora haja divergências na idade ideal de substituição, conforme os indicadores utilizados, a convergência para seis anos indica a relevância desse período na otimização do retorno financeiro. Deste modo a importância de adaptar estratégias de colheita às condições específicas do terreno, reforça a necessidade de uma abordagem flexível na gestão do *Harvester* para garantir sua eficácia ao longo do tempo.

## 5. REFERÊNCIAS

- BASSOLI, H. M. *et al.* Custo anual uniforme equivalente de máquinas de colheita de madeira: uma abordagem estocástica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S.L.], v. 40, p. 1-10, 30 dez. 2020. Embrapa Florestas. <http://dx.doi.org/10.4336/2020.pfb.40e201902073>.
- CESCA, I. G.. Desdobramentos da tomada de decisão em problemas de substituição de equipamentos por meio de funções contínuas e análise não suave. **Revista Produção Online**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 850-874, 15 set. 2018. Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v18i3.2977>.
- DONATO, D. B. *et al.* Viabilidade econômica de diferentes sistemas de produção de carvão vegetal em escala industrial. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 143-149, 27 out. 2017. Revista de Ciência de Madeira. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v8n3p143-149>.
- DOSSA, D. *et al.* **Aplicativo com análise de rentabilidade para sistemas de produção de florestas cultivadas e de grãos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000 56p. (Embrapa Florestas. Documentos, 39).
- FERNANDES, H. C. *et al.* Avaliação técnica e econômica de um “*Harvester*” em diferentes condições de terreno e produtividade da Floresta. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 145-151, 2013. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr97/cap15.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2023.
- LEITE, E. S. *et al.* Modelagem técnica e de custos do *Harvester* no corte de madeira de eucalipto no sistema de toras curtas. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 4, n. 98, p. 205-215, 2013. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr98/cap06.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2023.
- LEITE, E. S. **Technical and economic modeling of a cut-to-length mechanized system forest**. 2012. 129 f. Tese (Doutorado em Mecanização agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/730/1/texto%20completo.pdf>. Acessado em: 1 set. 2022
- MARQUES, G. M. *et al.*, Aplicação da programação dinâmica na substituição de equipamentos. **Revista Árvore**, v. 29, p. 749-756, 2005.
- MIRANDA, M. A. S. *et al.* Análise da rentabilidade de um projeto florestal considerando variação anual no preço do carvão vegetal. **Revista Agrogeoambiental**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 45-54, 24 jun. 2014. IFSULDEMINAS (Instituto Federal do Sul de Minas). <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v6n32014679>.
- SANTOS, D. W. F. N. *et al.* Desempenho técnico, econômico e ambiental do *Harvester* em distintas rotações do motor. **Scientia Forestalis**, [S.L.], v. 46, n. 118,

p. 319-326, 1 jun. 2018. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF).  
<http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n118.17>.

SILVA, M. L. *et al.* Análise do custo e do raio econômico de transporte de madeira de reflorestamentos para diferentes tipos de veículos. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 31, n. 6, p. 1073-1079, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO).  
<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622007000600012>.

SILVA, M. L.; FONTES, A A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (vpl), valor anual equivalente (vae) e valor esperado da terra. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 29, n. 6, p. 931-936, dez. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622005000600012>.

VALVERDE, S. R.; REZENDE, J. L. P. Princípio de substituição de máquinas e equipamentos. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 353-364, 1997.

## CONCLUSÃO GERAL

A análise conjunta dos dois capítulos forneceu uma abordagem holística para a gestão eficiente do *Harvester*, abordando tanto os custos operacionais quanto os indicadores financeiros que influenciam a decisão de substituição da máquina.

No primeiro capítulo, a ênfase nos custos associados à operação do *Harvester* destaca a importância da depreciação e do combustível. As simulações realizadas demonstram a variabilidade no Custo Total do *Harvester*, fornecendo informações para tomada de decisões como a escolha entre a compra e o aluguel da máquina. Neste trabalho, em 95% dos casos, a aquisição é mais vantajosa pois proporciona à empresa uma segurança financeira significativa.

Por sua vez, o segundo capítulo concentra-se em indicadores financeiros para determinar o momento ótimo de substituição do *Harvester*. A análise dos indicadores VPL, VAE, B/C, CMP e CAE evidenciaram a viabilidade econômica da máquina ao longo de sua vida útil, especialmente para uma faixa específica de volume e condições topográficas. A convergência dos diferentes métodos aponta para a idade ideal de substituição, predominantemente, aos seis anos.

A sensibilidade do projeto à declividade do terreno e ao volume médio das árvores, conforme destacado na análise pelo VAE, ressalta a necessidade de adaptação de estratégias de colheita às condições específicas do terreno. A flexibilidade na gestão do *Harvester* torna-se, assim, crucial para garantir sua eficácia ao longo do tempo, considerando as variações nas condições operacionais.